

EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE DE MICROGREENS EN CUARTOS DE CULTIVO A NIVEL DOMÉSTICO

FINANCIAL EVALUATION OF THE SUSTAINABLE PRODUCTION OF MICROGREENS IN PRODUCTION ROOMS AT THE HOUSEHOLD LEVEL

Clara R. Álvarez Chávez¹, Ana L. Bautista-Olivas², Ángel C. Sánchez Mexia³, Francisco Vargas-Serrano⁴ y Mayra Mendoza-Cariño^{5*}

¹Universidad de Sonora (UNISON), Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Posgrado en Sustentabilidad, Hermosillo, Sonora, México. ²UNISON, Departamento de Agricultura y Ganadería, Hermosillo, Sonora, México. ³UNISON, Posgrado en Sustentabilidad (Egresado), Hermosillo, Sonora, México. ⁴UNISON, Maestría en Finanzas, Hermosillo, Sonora, México. ⁵Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Iztapalapa, Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia (mayra.mendoza@zaragoza.unam.mx)

RESUMEN

La agricultura tradicional enfrenta desafíos de sostenibilidad para satisfacer la demanda de alimentos de la población mundial, debido a diversos factores como el cambio climático y la erosión del suelo. El objetivo de la presente investigación fue realizar una evaluación financiera de cultivos de microgreens en cuartos de producción a nivel doméstico bajo condiciones ambientales controladas, a través de dos sistemas de producción diferenciados a partir del suministro energético: Comisión Federal de Electricidad (CFE) y paneles solares. El estudio se efectuó en tres etapas: 1) desarrollo de microgreens en cuartos de cultivo con humedad y temperatura controladas y cálculo de rendimiento agrícola, 2) estimaciones del consumo energético requerido en el proceso de germinación y costo económico asociado, y 3) evaluación financiera del proyecto en los sistemas citados. Los microgreens se desarrollaron en 15 días. Los rendimientos fueron 0.38, 0.38, 0.41, 0.43 y 0.38 kg m⁻² para alfalfa (*Medicago sativa*), betabel (*Beta vulgaris*), brócoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*), pasto de trigo (*Triticum eastivum*) y rábano (*Raphanus sativus*), respectivamente. El consumo energético del equipo para mantener las condiciones ambientales en el cuarto de producción fue de 188.4 kWh. Para el sistema fotovoltaico se requirieron ocho paneles solares de 320 kW. Los costos fijos fueron \$ 24,103.96 pesos mexicanos (MXN) (sistema CFE), y \$ 48,471.75 MXN (sistema paneles solares); los gastos variables fueron \$ 1.32 MXN (ambos sistemas). El valor presente neto indicó la rentabilidad del proyecto en nueve (sistema CFE) o 14 meses (sistema paneles solares); el margen de utilidad operativa fue 34.7 % en ambos casos. La ejecución del proyecto disminuye las presiones sobre el agua y el suelo, y contribuye con los objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

Palabras clave: cuarto de cultivo, energía limpia, paneles solares, tasa interna de rentabilidad, valor presente neto.

SUMMARY

Traditional agriculture faces sustainability challenges to meet the food demand of the world population, due to various factors such as climate change and soil erosion. The aim of this research was to financially evaluate microgreen crops in production rooms under controlled environmental conditions through two production systems differentiated by the energy supply: Federal Electricity Commission (CFE) and solar panels. The study was carried out in three stages: 1) production of microgreens in cultivation rooms with controlled humidity and temperature, and calculation of agricultural yield; 2) estimation of the energy

consumption required in the germination process and associated economic cost, and 3) financial evaluation of the project in the cited scenarios. The microgreens developed in 15 days. Yields were 0.38, 0.38, 0.41, 0.43 and 0.38 kg m⁻² for alfalfa (*Medicago sativa*), beetroot (*Beta vulgaris*), broccoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*), wheat grass (*Triticum eastivum*) and radish (*Raphanus sativus*), respectively. The energy consumption of the equipment to maintain environmental conditions in the production room was 188.4 kWh. Eight 320 kW solar panels were required for the photovoltaic system. Fixed costs were \$ 24,103.96 Mexican pesos (MXN) (CFE system) and \$ 48,471.75 MXN (solar panels system); variable costs were \$ 1.32 MXN (both systems). The net present value indicated the project profitability in nine (CFE system) or 14 months (solar panels system); the operating profit margin was 34.7 % in both cases. The implementation of the project reduces pressure on water and soil, and contributes to the sustainable development goals of the United Nations Organization 2030 Agenda.

Index Words: clean energy, growth room, internal rate of return, net present value, solar panels.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, la red agroalimentaria presenta desafíos de sostenibilidad para satisfacer las necesidades de una población en crecimiento, debido a diversos factores como el cambio climático, la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad (Arneeth, 2019).

Los microgreens (microvegetales) son plántulas comestibles como la alfalfa y el brócoli, tienen demanda en el mercado por su valor nutricional, poseen fibra, minerales y vitaminas (Ghoora *et al.*, 2020), cuyo cultivo en cuartos de producción a escala doméstica es una alternativa agrícola con amplios beneficios como autoconsumo familiar (Weber, 2016), tiempo promedio de cosecha de 10 a 14 días (Kusumitha *et al.*, 2021), bajo riesgo de enfermedades y plagas, ofrecen la oportunidad comercial y servicios ambientales (Kreuger *et al.*, 2018), menor uso de agroquímicos (Pérez *et al.*, 2018), sin uso de suelo que previene el deterioro de ecosistemas terrestres, y

contribuye con la Agenda para el Desarrollo Sostenible 2030 (ONU, 2020).

Un cuarto de producción permite controlar variables ambientales como la humedad relativa (HR), la temperatura y la iluminación. La calidad medida en términos de longitud de onda, cantidad y dirección de la luz son elementos clave en el crecimiento de los microgreens (Guerovac, 2016). Estos requieren luz de asimilación como la luz artificial LED (light emitting diode) azul y roja (Heuvelink *et al.*, 2006), las cuales utilizan 0.14 kWh y ocasionan un gasto energético de 47.04 kWh para un periodo de 14 días, que genera hasta 0.8 kg en 0.9 m² (Jairueng *et al.*, 2019); eso implica un alto consumo energético (Engler y Krarti, 2021), cuyo costo económico se reduce con el uso de paneles solares (Assefa *et al.*, 2021).

La evaluación financiera (EF) determina la viabilidad de proyectos mediante un estudio de mercado, el flujo de efectivo y la rentabilidad socioeconómica, determinada por diversos indicadores económicos como el Valor Presente Neto (VPN) que refiere al valor actual de un flujo de costos futuros (Hinman y Yancey, 1997), el Valor Neto Actual (VNA) que indica la diferencia entre el valor actualizado de los flujos de beneficio y el valor actualizado de la inversión (Jiménez *et al.*, 2007), y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que hace que el VNA sea igual a cero.

La agricultura debe ser redituable para ser asertiva con respecto a los pilares de la sostenibilidad, economía, medioambiente y sociedad (FAO, 2023a); por ello, el objetivo de este estudio fue realizar la evaluación financiera de cultivos de microgreens en un cuarto de producción a escala doméstica bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, a través de los sistemas de producción con suministro energético de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y de paneles solares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó en el cuarto de producción en una vivienda de nivel socioeconómico medio en Hermosillo, Sonora, México con coordenadas 29° 04' 22" latitud N, 110° 57' 21" longitud O. El proyecto se efectuó en tres etapas: 1) desarrollo de cultivos de microgreens en cuarto de cultivo (15 días) bajo condiciones ambientales controladas (octubre 2021) y cálculo de rendimiento agrícola, 2) estimación del consumo energético en el desarrollo de los cultivos y costo económico asociado, y 3) EF del proyecto en dos sistemas de suministro energético: CFE y panel solar.

Etapa I: cultivos de microgreens y rendimiento agrícola

En un cuarto de producción de 12 m² se instalaron dos estantes (174 cm alto × 54.5 cm ancho × 2 m largo). En la parte superior de cada uno de ellos se instalaron lámparas LED de color violeta (380-420 nm) con fotones de espectro (azul 15.5 %, rojo 69.5 %, verde 15 %) y fotosintéticamente activos (80.6 μmol s⁻¹) (Marca Arize Link LED Luminaire, modelo PKB, Hort Americas, Forth Worth, Texas, EUA). Las luces se encendieron 14 h diarias con apoyo de un temporizador para cultivos de interior.

En el cultivo de cada microgreen de alfalfa (*Medicago sativa* L.), betabel (*Beta vulgaris* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L.), pasto de trigo (*Triticum aestivum* L.) y rábano (*Raphanus sativus* L.) se usó una charola plástica (20 × 13 × 5 cm) desinfectada con H₂O₂ 3 %. Cada charola tuvo una cama de 1 cm de peat moss hidratado con 6 g de semilla. En cada estante se colocaron horizontalmente cinco charolas, cada una con un microgreen distinto, en total, dos charolas por cultivo. Solo el primer día, las charolas se cubrieron con plástico negro para generar un ambiente propicio para la germinación. La HR (54 %) y la temperatura (25 °C) se controlaron con un termohigrómetro (marca Taylor, Rochester, Nueva York, EUA), cada charola se regó con agua corriente (15 mL por día; 210 mL en 14 días de cultivo). Los brotes se cosecharon cada 15 días, en este estudio solo se realizó una cosecha, cuyo rendimiento agrícola se calculó con la Ec. 1:

$$\text{Rendimiento agrícola} = \frac{\text{producto (kg)}}{\text{área de siembra (m}^2\text{)}} \times 100 \quad \text{Ec. 1)}$$

Etapa II: consumo de energía en el desarrollo de los cultivos y costo económico

Este proyecto contó con un cuarto de producción habilitado, cuyo costo económico de establecimiento se excluyó de la EF. Se determinó el gasto energético en kWh por día del equipo eléctrico, se sumaron los valores y el resultado se multiplicó por 15 (días de desarrollo de los cultivos); a partir de ese valor, se calcularon los costos económicos para sistemas de producción con distinta fuente de energía: abastecida por la CFE y energía solar captada por paneles solares interconectados a la red de CFE.

El gasto de energía asociado al aire acondicionado se estimó a partir del Sistema de Información y Visualización de Estaciones Automáticas de la Comisión Nacional del Agua, quien reporta la radiación solar promedio, las condiciones climáticas, geográficas y temporales de Sonora, México durante todo el año (SMN, 2022). Para saber las dimensiones del panel solar se estimó el requerimiento de luz diario (RLD) con la Ec. 2:

$$RLD = \frac{\text{consumo energético total del periodo de cultivo (kWh)}}{15 \text{ (días de desarrollo del cultivo)}} \quad \text{Ec. 2}$$

La energía que produce un panel solar en Sonora, México se estimó con la Ec. 3:

$$\text{Energía producida por el panel} = 0.329 \text{ (kW)} \times 6.5 \text{ (h)} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde 0.329 (kW) es la energía que produce el panel solar limpio y sin deterioro por cada 1000 watts m⁻² (información técnica del panel solar), el valor 6.5 representa las horas pico promedio de irradiación en Sonora, México (SMN, 2022). El número de paneles solares requeridos se calculó con la Ec. 4:

$$\text{Número de paneles solares} = \frac{\text{Requerimiento promedio diario de energía (kWh)}}{\text{Energía producida por el panel solar (kWh)}} \quad \text{Ec. 4}$$

La precisión de la eficiencia del sistema fotovoltaico (PESF) se valoró con la Ec. 5:

$$PESF = \text{número de paneles solares} \times 1.25 \text{ (factor de seguridad)} \quad \text{Ec. 5}$$

El factor de seguridad corrige los defectos derivados de la suciedad y el envejecimiento del equipo, su valor se asocia con la potencia nominal (eficacia máxima del aparato en condición normal de uso, que incrementa el número de paneles solares requeridos) (Rúa-Ramírez et al., 2021), se calculó con la Ec. 6:

$$6.03 \text{ paneles solares} \times 1.25 \text{ factor de seguridad} = 7.53 \text{ paneles de } 0.320 \text{ kW} \quad \text{Ec. 6}$$

Esto resultó en ocho paneles solares para cubrir las necesidades energéticas de los cultivos de microgreens.

Etapa III: evaluación financiera en MXN del cultivo de microgreens

La EF comprendió: i) un estudio de mercado para conocer el precio de 1 g de microgreens en Sonora, México (mayo a junio de 2022). Aunque el proyecto se orientó al cultivo de autoconsumo, se simuló su venta para estimar la demanda comercial y determinar la rentabilidad del proyecto en los sistemas previstos con una proyección de venta de cinco años (se consideró la tasa de crecimiento poblacional), ii) se estimaron los costos fijos y variables del establecimiento y operación de ambos sistemas, el punto de equilibrio (PE) (Ec. 7), el VPN (Ec. 10), la TIR (Ec. 11) y el Beneficio-Costo (B/C) del proyecto (Ec.12):

$$PE = \frac{\text{Costo fijo}}{\text{Precio} - \text{costo variable}} \quad \text{Ec. 7}$$

El PE define el punto en que los ingresos del proyecto son iguales a sus costos (sin utilidad ni pérdida). El costo fijo es constante frente a las variaciones en el volumen de producción en un tiempo determinado; el costo variable cambia con el número de unidades producidas (Caldas et al., 2019), y iii) se determinó el flujo de efectivo del proyecto con la Ec. 8:

$$\text{Flujo de efectivo} = BN + A + P + CP - CC \quad \text{Ec. 8}$$

Donde BN representa el Beneficio Neto; A, las amortizaciones; P, las provisiones; CP, las cuentas por pagar y CC, las cuentas por cobrar. La EF del proyecto se realizó en los sistemas citados: se calculó el VNA, el VPN, la TIR y la Relación Beneficio/Costo inversión inicial, con las siguientes fórmulas:

$$VNA = \left(\frac{C1}{(1+r)} \right) + \left(\frac{C2}{(1+r)^2} \right) + \dots + \left(\frac{Cn}{(1+r)^n} \right) \quad \text{Ec. 9}$$

$$VPN = VNA - \text{inversión inicial} \quad \text{Ec. 10}$$

$$TIR = \sum_{t=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad \text{Ec. 11}$$

$$\text{Beneficio} - \text{costo} = \frac{VNA}{\text{Inversión inicial}} \quad \text{Ec. 12}$$

$$\text{Capital de trabajo} = \text{activos circulantes} - \text{pasivos circulantes} \quad \text{Ec. 13}$$

$$\text{Inversión inicial} = \text{mobiliario y equipo} + \text{capital de trabajo} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde VNA: Valor Neto Actual, C₁ hasta C_n: flujo de efectivo futuro, r: tasa de descuento, la cual se estimó con la tasa de interés promedio del crédito otorgado a pequeñas empresas por parte de los bancos que fue de 13 % en 2021 (Banco de México, 2021), y es la tasa de rendimiento requerida para la inversión, n: número de periodos de la inversión, donde en lugar de incluir el costo de construcción del cuarto, se consideró una renta de \$1250 MXN. La inversión inicial es igual al mobiliario y equipo que se obtuvieron de los costos fijos más el capital de trabajo (= activos circulantes menos pasivos circulantes). En TIR, Fn es el flujo de caja en el periodo n, n es el número de periodos, i es el valor de la inversión inicial. En beneficio-costo, VNA es el valor neto actual. La viabilidad económica del proyecto se determinó con base en los criterios de la TIR (> el costo de financiamiento), el VPN (con valor monetario con signo positivo) y la relación beneficio/costo > 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cultivos de microgreens y rendimiento agrícola

Los intervalos adecuados de HR (40-60 %), luz (150

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y temperatura (18-24 °C) favorecen el desarrollo de microgreens; condiciones adversas afectan la absorción de agua y nutrientes, actividades enzimáticas, fotosíntesis, permeabilidad de la membrana celular, respiración y transpiración (FAO, 2002); se genera una pérdida de electrolitos del tejido vegetal y contaminación microbiana (Kou *et al.*, 2013). El control de temperatura (25 °C) y HR (54.4-56.8 %) en este trabajo produjeron microgreens sanos, hojas y tallo sin malformaciones o descoloramiento. Martínez (2016; Com. Pers.)¹ cultivó cinco tipos de microgreens en ambiente similar y encontró valor nutricional sin estrés vegetal.

El rendimiento obtenido en el área de 0.26 m² fue: alfalfa 0.099 kg, betabel 0.1 kg y pasto de trigo 0.1 kg (cada uno 0.38 kg m⁻²), brócoli 0.109 kg (0.41 kg m⁻²) y rábano 0.113 kg (0.43 kg m⁻²); en promedio, 0.4 kg m⁻² y una productividad promedio de 1 kg por cada 0.525 L de agua. Botero (2017; Com. Pers.)² logró de 0.8 a 1.7 kg m⁻² de microgreens de mostaza, lo que superó hasta en 4.25 veces este trabajo; se estimó que la diferencia se debió al sustrato (celulosa, fibra de coco, suelo y turba) y al pretratamiento que éste usó. Este estudio empleó peat moss, sin fertilizante ni pretratamiento.

Hoang y Vu (2022) lograron mayores rendimientos de microgreens de brócoli, mizuna (*Brassica rapa* subsp. *nipposinica*), mostaza verde (*Brassica juncea*) y repollo rojo (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*) que en este trabajo, lo que se asoció con la mezcla del peat moss con fibra de coco y con la fertilización, mientras que Murphy y Pill (2010) obtuvieron 10.14 kg m⁻² de microgreens de betabel cultivados en sistema hidropónico. El rendimiento superó en 25.35 veces este estudio (0.4 kg m⁻²), se vinculó con la densidad de siembra, la nutrición y el pretratamiento del sustrato. La fertilización adicional macro y micronutrientes (Li *et al.*, 2021), lo que que pudiera mejorar la productividad de este trabajo.

Varona (2022, Com. Pers.)³ obtuvo entre 0.58 y 17.49 g de microgreens de rúcula (*Eruca vesicaria*) cultivada en un cuarto de producción con luz LED blanca y roja (12 h encendidas durante 15 días), bajo distintos tratamientos de sustrato. Los mayores rendimientos se asociaron con

¹Martínez R. (2016) *Debaryomyces hansensii* como agente de control biológico y modulador del contenido de compuestos bioactivos en *Microgreens* como plataforma alimentaria, México. Tesis Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C. La Paz, Baja California Sur, México. 89 p.

²Botero G. J. P. (2017) Comparación de sustratos y densidades de siembra en microbrotes de mostaza roja (*Brassica rapa nipposinica* Bailey). Tesis Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras. 17 p.

³Varona A. C. (2022) Cultivo de *Microgreens* de rúcula en agricultura vertical indoor: evaluación económica y medioambiental. Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. 50 p.

el empleo de turba que favoreció la germinación. Por otro lado, Hooks *et al.* (2022) demostraron que el uso de luz ultravioleta ($600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en cultivos de microgreens de albahaca (*Ocimum basilicum*), colinabo (*Brassica napus* var. *napobrassica*), col rizada (*Brassica oleracea* var. *sabellica*) y repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*) tuvo un efecto positivo en el crecimiento de las plántulas, con una mayor concentración de macro y micronutrientes.

Estimación del consumo energético en el desarrollo de los cultivos y costo económico

El consumo energético de los equipos utilizados en este proyecto durante los 15 días de desarrollo de los microgreens fue en total de 188.4 kWh; un equipo de aire acondicionado (12,000 BTU h⁻¹ de 1 t), 10 kWh por día (150 kWh 15 por día); dos lámparas LED (20 watts y 129 voltios) 0.36 kWh por día (5.4 kWh 15 por día; ventilador portátil de piso (18" de tres aspas y 120 voltios) 2.2 kWh por día (33 kWh 15 días).

En México, la CFE establece tarifas para el suministro eléctrico según las condiciones climáticas de la zona geográfica y el tipo de uso (CFE, 2022). Sonora se ubica en una zona desértica con temperaturas entre 22 y 38 °C en verano (INEGI, 2022), el uso de energía se tipificó como doméstico para el proyecto (año 2021), con costos (MXN) de tarifa básica de \$ 0.873 (consumo de los primeros 75 kWh) e intermedia de \$ 1.061 (uso de los siguientes 125 kWh) (CFE, 2022). El consumo de energía eléctrica total del proyecto fue 188.4 kWh, comprendió las tarifas básica (\$ 65.47) e intermedia (\$ 119.89), con un costo total de \$ 215.01 (incluyó IVA, sin cargos adicionales) (CFE, 2022).

Es importante comentar que, al comparar los costos económicos de éste con otros proyectos cuya moneda es distinta al peso mexicano, se consultó el tipo de cambio según el Banco de México (2023). Wilhelm (2021) sembró microgreens de hoja verde en una cámara frigorífica en New Hampshire, EUA con temperaturas entre 23 y 25.5 °C, cuyo costo energético fue equivalente a \$ 1112.52 MXN en 14 días de producción (\$ 783.46 m⁻²), lo que superó este trabajo (\$ 15.7 m⁻²); la diferencia de costos entre estudios se relacionó con el uso de calentadores y lámparas para mantener la temperatura, aunado a la mayor tarifa de aquel país. Cabe mencionar, que este trabajo se efectuó en octubre, cuando el gobierno mexicano subsidia el costo energético debido al clima árido de Sonora (CFE, 2022).

Dimensiones y capacidad de la instalación del panel solar

El consumo total de energía en los 15 días del cultivo fue 188.4 kWh (12 m²) con una producción promedio de 0.4

kg, mientras que el requerimiento del panel solar fue 12.56 kWh por día. Cada panel produjo 2.08 kWh de energía, por lo que se necesitaron 6.03 paneles solares; sin embargo, la PESF indicó ocho paneles solares de 320 kW. En este proyecto se estimó que, para obtener 1 kg de microgreens se consumirían 95.15 kWh, lo que superó los 4.9 kWh reportados por Schmidt Rivera *et al.* (2022) para garbanzo (*Cicer arietinum*) cultivado en un cuarto de producción (48 m² y sistema aeropónico a 23 °C) en Reino Unido. La diferencia entre valores se adjudicó a las condiciones climáticas: en dicho estudio se usaron ventiladores para mantener la temperatura, mientras que en éste se utilizó ventilador y aire acondicionado, lo que generó una demanda energética 35 veces superior al cultivo de garbanzo, pese a que el área fue cuatro veces menor.

Evaluación financiera (en MXN) del cultivo de microgreens

El estudio de mercado mostró que el brócoli tuvo el mayor precio (\$ 4.66 g⁻¹), en contraste con la alfalfa (\$ 0.24 g⁻¹), aunque ésta fue la de mayor cantidad vendida (9 kg). La venta mensual principal fue de betabel (\$ 4800) y brócoli (\$ 3500) (Cuadro 1).

Con base en una tasa de crecimiento poblacional de 2.8 % para Sonora, México (INEGI, 2022), y del consumo permanente del número de cajas de microgreens previamente establecido, se estimó que éste ascenderá de 864 cajas en 2020 a 960 en 2026 (Cuadro 2).

En el estimado de ventas de los microgreens se consideraron dos sistemas de producción: el suministro energético por CFE y panel solar, cuyos costos fijos y variables fueron \$ 24,103.96 y 1.32 y \$ 48,471 y 1.32 respectivamente (Cuadro 3). Comparativamente, los sistemas produjeron 137 y 266 cajas de 250 g, el capital de trabajo para los dos sistemas fue \$ 80,973 y la inversión inicial \$ 129,444.75 y \$ 105,019.52 con y sin panel solar, respectivamente.

Varona (2022)³ produjo *microgreens* de rúcula en Colombia y determinó gastos fijos y variables equivalentes a \$ 322,890.56 y \$ 831,487.75 MXN (febrero 2023), respectivamente, los cuales, superaron este trabajo (Cuadro 3). La desigualdad entre gastos se vinculó con el tamaño de los proyectos y los elementos de gastos fijos y variables. El flujo de efectivo neto en ambos sistemas fue positivo para los cinco años proyectados (Cuadros 4 y 5).

La rentabilidad del proyecto se determinó en ambos sistemas con base en dos criterios: la TIR fue mayor que el costo de inversión y el VPN debió tener un signo positivo (indicó ganancia económica). El VPN señaló que este proyecto es rentable en nueve (sistema CFE) y 14 meses (sistema panel solar).

El beneficio económico derivado de la inversión para autoconsumo en el largo plazo -una vez descontados los pagos futuros a su valor presente- se determinó menor que el costo del financiamiento del proyecto. El

Cuadro 1. Estudio de mercado de microgreens en México: mayo a junio 2022.

Microgreens	Empresa	Precio ⁺ (\$) ⁺⁺	Contenido ⁺ (g)	Cajas vendidas [†]	Ingreso [†] (\$) ⁺⁺	MV [†] (g)	Precio (\$) ⁺⁺ g ⁻¹
Alfalfa	Walmart	49	200	45	2205	9000	0.24
Betabel	DILMUN	80	45	60	4800	2700	1.77
Brócoli	ISLA	70	15	50	3500	750	4.66
Pasto de trigo	Jung	75	50	22	1650	1100	1.50
Rábano	CSC	60	28	58	3480	1624	2.14

[†]Por caja, ⁺⁺Pesos mexicanos, CSC, ConSuma Conciencia, [†]valor mensual; MV.

Cuadro 2. Proyección de venta de microgreens 2022-2026, Sonora, México.

Año	2022	2023	2024	2025	2026
Habitantes	2,944,840	3,027,296	3,109,751	3,192,206	3,271,661
Proyección de cajas vendidas	864	888	912	936	960

Elaborado con datos de INEGI (2022).

beneficio-costo fue 12.46 para el sistema CFE y 5.59 para el sistema panel solar.

Avgoustaki y Xydis (2020) cultivaron albahaca en cuartos de producción en Dinamarca, indicaron un VPN equivalente a \$ 77,291.22 MXN (febrero 2023) y una TIR de 34.74 % por m² en cuatro años. Esos valores fueron menores con respecto a este trabajo, pese a que el desarrollo completo de la albahaca fue de 30 días. Por otro lado, Swart (2018) reportó un VPN similar a \$ -2,783,292.27 MXN en cultivos de microgreens en Sudáfrica, cuyo signo negativo señaló pérdidas económicas y la inviabilidad del proyecto por 10 años, en respuesta a deficiencias de la cadena productiva. El margen de utilidad operativa de 34.7 % indicó la rentabilidad de este proyecto, después de deducir costos y gastos operativos del ingreso por venta, en ambos sistemas. Wilhelm (2021) generó un margen de utilidad operativa de 25 % con una inversión equivalente a \$ 154,814.71 MXN (febrero 2023), lo que determinó la viabilidad de su proyecto. Dicha inversión superó los

sistemas CFE (\$ 105,019.52 MXN) y paneles solares (\$ 129,444.75 MXN), debido a los costos del equipo y tecnología utilizada.

Filatov *et al.* (2022) produjeron microgreens de col y rábano en siete días en Rusia, con un costo de luz equivalente a \$ 4.10 y \$ 2.05 MXN (febrero 2023) g⁻¹, respectivamente. Debido a que este trabajo tuvo un costo de luz de \$ 272.45 MXN por 0.4 kg de microgreens (\$ 0.68 g⁻¹), el proyecto de Filatov *et al.* (2022) superó los costos de operación, por lo que fue menos rentable.

Cultivos de microgreens en cuartos de producción y su contribución a la sustentabilidad

La degradación de tierras se relaciona con la disponibilidad de agua, el cambio climático y la seguridad alimentaria (FAO, 2023b). La producción de alimentos en Sonora enfrenta desafíos desde hace 20 años debido al manejo inadecuado de la agricultura industrial y las sequías

Cuadro 3. Relación estimada de costos fijos y variables de los sistemas de producción de microgreens.

Equipo, material e insumos	Sistema paneles solares		Sistema CFE	
	Costo (\$)†	Unidad	Costo (\$)†	Unidad
Costos fijos				
Aire acondicionado de 12 000 BTU h ⁻¹ de 1 t	5,895.00	1	5,895.00	1
Atomizador plástico para riego (1 L) marca betterware	349	2	349	2
Charola plástica para germinación (0.26 m ² de área)	500	5	500	5
Empaque plástico para microgreens, 55 oz (9 × 9 × 3 cm)	18.58	1	18.58	1
Estante metálico de cinco niveles	3,000.00	2	3,000.00	2
Lámparas LED de 20 watts y 129 voltios	11,091.92	2	11,091.92	2
Mesa (180 cm largo × 70 cm ancho × 74 cm alto)	1,033.62	1	1,033.62	1
Temporizador para cultivos Indoor marca Heavy Duty	180	1	180	1
Ventilador de piso de 18" de metal	1,763.39	1	1,763.39	1
Panel solar (320w 1170W 24V 6×195W), complete off Grid Solar Kit	24,640.24	8		
Consumo energético			272.45	188.40 kWh
Costo fijo total	48,471.75		24,103.96	
Costos variables				
Agua	1.15	3 L	1.15	3 L
Peat moss ^{††}	0.001	32 g	0.001	32 g
H ₂ O ₂	0.09	1 mL	0.09	1 mL
Semilla	0.08	7 g	0.08	7 g
Costo variable total	1.32		1.32	

†Pesos mexicanos, ††Costo proporcional de 3 g de una bolsa de 3 kg.

Cuadro 4. Flujo de efectivo del cultivo de microgreens en los sistemas CFE y paneles solares en un periodo de cinco años.

Sistema	Comisión Federal de Electricidad					Paneles solares				
	2022	2023	2024	2025	2026	2022	2023	2024	2025	2026
BN	22,832	84,174	86,910	87,179	42,273	22,832	80,174	86,910	86,179	89,922
DEP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,303
CC	-53,334	-3028	-	-1578	-122	-53,334	-3028	-	-1578	-1622
INV	-30,045	-1706	-	-889	-914	-30,045	-1706	-	-889	-2126
AF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-48,473
CP	25,237	707	726	747	768	25,237	707	726	747	768
FEN	33,632	90,974	97,710	97,979	100,72	33,632	90,974	97,710	97,979	53,073

AF: activo fijo, BN: beneficio neto después de impuestos, CC: cuentas por cobrar, CP: cuentas por pagar, DEP: depreciación, FEN: flujo de efectivo neto, INV: inventario.

Cuadro 5. Proyección de flujo de efectivo (MXN) de la producción de microgreens en un cuarto de cultivo bajo condiciones controladas en los sistemas CFE y panel solar.

Año	Sistema CFE [†]	Sistema panel solar
Inversión	-105,019.52	-129,444.75
2022	22,832	22,832
2023	80,174	84,174
2024	86,910	86,910
2025	87,179	87,179
2026	89,922	42,273
VNA:	\$259,980.07	\$234,949.19
VPN:	\$154,960.55	\$105,504.44
TIR:	50.3 %	36.8 %

VNA: valor neto actual, VPN: valor presente neto, TIR: tasa interna de retorno. [†]Tarifa 1F de la Comisión Federal de Electricidad.

(CONAGUA, 2023). Desde 2020, 31.7 % de la población sonorense disminuyó el consumo de productos de la canasta básica por su bajo ingreso económico (Espinoza, 2022). Se prevé que la población aumentará a 3,000,000 de habitantes en 2023, con base en una tasa de crecimiento de 2.9 %, y 88 % residirá en las urbes (INEGI, 2020).

CONCLUSIONES

Se logró realizar la evaluación financiera de cultivos de microgreens en un cuarto de producción a escala doméstica bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, en los sistemas de suministro energético a través de la CFE y de paneles solares. Los resultados obtenidos demostraron ser sostenibles respecto a la agricultura urbana para las familias sonorenses de nivel socioeconómico medio (o mayor), ya que pueden cosechar cada 15 días en todo el año. El rendimiento promedio por

cultivo fue 0.4 kg m⁻². Los costos fijos fueron \$ 24,103.96 MXN para el sistema CFE y \$ 48,471.75 MXN para el sistema de paneles solares; los gastos variables, \$ 1.32 MXN para ambos sistemas. El consumo energético y costo económico del sistema de cultivo revelaron que el uso de paneles solares aumentó los costos de inversión del proyecto, por lo que es redituable en 14 meses, mientras que el sistema con CFE es redituable en nueve meses. El sistema CFE es más rentable, pero el sistema de paneles solares reduce las externalidades al utilizar energía limpia y asequible para la región.

BIBLIOGRAFÍA

Arneth A., F. Denton, F. Agus, A. Elbehri, K. Erb, B. Osman Elasha, ... and R. Valentini (2019) Framing and context. *In: Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes*

- in Terrestrial Ecosystems. P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, ... and J. Malley (eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Geneva, Switzerland. pp:77-129, <https://doi.org/10.1017/9781009157988.003>
- Assefa T. T., T. F. Adametie, A. Y. Yimam, S. A. Belay, Y. M. Degu, S. T. Halfmenses, ... and P. V. V. Prasad (2021)** Evaluating irrigation and farming systems with solar Maji Pump in Ethiopia. *Agronomy* 11:17, <https://doi.org/10.3390/agronomy11010017>
- Avgoustaki D. D. and G. Xydis (2020)** Indoor vertical farming in the urban nexus context: business growth and resource savings. *Sustainability* 12:1965, <https://doi.org/10.3390/su12051965>
- Banco de México (2021)** Indicadores básicos de créditos a las pequeñas y medianas empresas (PYMES). Banco de México. Ciudad de México. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/rib-creditos-a-pymes/%7BD50011D6-98BB-1D8A-85C6-C635535A04DE%7D.pdf> (Octubre 2023).
- Banco de México (2023)** Portal del mercado cambiario. Bando de México. Ciudad de México. <https://www.banxico.org.mx/tipcomb/main.do?page=tip&idioma=sp> (Febrero 2023).
- Caldas B. M. E., A. Gregorio A. y M. L. Hidalgo O. (2019)** Iniciación a la Actividad Emprendedora y Empresarial. Editorial Editec S.A. Madrid, España. 176 p.
- CFE, Comisión Federal de Electricidad (2022)** Acervo histórico tarifario Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica. Comisión Federal de Electricidad. Ciudad de México. https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=domesticas2 (Diciembre 2022).
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2023)** Monitor de sequía en México. Comisión Nacional del Agua. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico> (Marzo 2023).
- Engler N. and M. Kranti (2021)** Review of energy efficiency in controlled environment agriculture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 141:110786, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110786>
- Espinoza R. J. (2022)** En Hermosillo y Sonora persiste reto en el tema alimentario. Hermosillo ¿Cómo Vamos? Edición 17/Mayo/2021. Hermosillo Sonora, México. <https://hermosillocomovamos.org/2021/05/17/en-hermosillo-y-sonora-persiste-reto-en-el-tema-alimentario/> (Marzo 2024).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2002)** Control del medio ambiente. In: El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. FAO. Roma, Italia. <https://www.fao.org/3/s8630s/s8630s06.htm> (Mayo 2023).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2023a)** Foro Global sobre Seguridad Alimentaria y Nutrición (Foro FSN). FAO. Roma, Italia. <https://www.fao.org/fsnforum/resources> (Mayo 2023).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2023b)** Portal de Suelos de la FAO. Degradación del suelo. FAO. Roma, Italia. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/> (Mayo 2023).
- Filatov D. A., A. A. Vetchinnikov, S. I. Olonina and I. Y. Olonin (2022)** Intermittent LED lighting helps reduce energy costs when growing microgreens on vertical controlled environment farms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 979:012096, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012096>
- Gerovac J. R., J. K. Craver, J. K. Boldt and R. G. Lopez (2016)** Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of *Brassica* microgreens. *HortScience* 51:497-503, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.497>
- Ghoora M., D. R. Babu and N. Srividya (2020)** Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary *Microgreens*. *Journal of Food Composition and Analysis* 91:103495, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103495>
- Heuvelink E., M. Bakker, L. Hogendonk, J. Janse, R. Kaarsemaker and R. Maaswinkel (2006)** Horticultural lighting in The Netherlands: new developments. *Acta Horticulturae* 711:25-34, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.1>
- Hinman N. D. and M. A. Yancey (1997)** Net present value analysis to select public R&D programs and value expected private sector participation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 63:599-607, <https://doi.org/10.1007/BF02920458>
- Hoang G. M. and T. T. Vu (2022)** Selection of suitable growing substrates and quality assessment of Brassica *Microgreens* cultivated in greenhouse. *Academia Journal of Biology* 44:133-142, <https://doi.org/10.15625/2615-9023/16833>
- Hooks T., L. Sun, Y. Kong, J. Masabni and G. Niu (2022)** Adding UVA and far-red light to white LED affects growth, morphology, and phytochemicals of indoor-grown microgreens. *Sustainability* 14:8552, <https://doi.org/10.3390/su14148552>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020)** Rural y Urbana. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/poblacion/distribucion.aspx?tema=me&e=26> (Marzo 2023).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022)** Información de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/> (Diciembre 2022).
- Jairueng S., S. Retanamart, L. Ruekkasem and P. Angkulanon (2019)** Eco-friendly roof design for urban homes in Thailand. *International Journal of Civil Engineering and Technology* 10:48-56.
- Jiménez B. F., C. L. Espinoza G. y L. Fonseca (2007)** Ingeniería Económica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. San José, Costa Rica. 354 p.
- Kou L., Y. Luo, T. Yang, Z. Xiao, E. R. Turner, G. E. Lester, ... and M. J. Camp (2013)** Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. *LWT - Food Science and Technology* 51:73-78, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.017>
- Kreuger M., L. Meeuws and G. Meeuws (2018)**. Total indoor farming concepts for large-scale production. In: Smart Plant Factory. T. Kozai (ed.). Springer. Singapore. pp:125-135, https://doi.org/10.1007/978-981-13-1065-2_8
- Kusumitha V. N., V. Rajasree, R. Swarnapriya, D. Uma and P. Meenakshi (2021)** Nutrient availability of selected leafy vegetables at micro green stage grown in vertical gardening. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 10:2226-2228, <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1ae.13686>
- Li T., G. T. Lalk and G. Bi (2021)** Fertilization and pre-sowing seed soaking affect yield and mineral nutrients of ten microgreen species. *Horticulturae* 7:14, <https://doi.org/10.3390/horticulturae7020014>
- Murphy C. and W. Pill (2010)** Cultural practices to speed the growth of microgreen arugula (roquette; *Eruca vesicaria* subsp. *sativa*). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85(3): 171-176, <https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512650>
- ONU, Organización de las Naciones Unidas (2020)** Objetivos de desarrollo sostenible. Organización de las Naciones Unidas. Nueva York, EUA. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/> (Marzo 2023).
- Pérez V. A., D. A. Leyva T. y F. C. Gómez M. (2018)** Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:175-189, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>
- Rúa-Ramírez E., I. D. Mendoza-Jiménez, E. Torres-Suarez, E. G. Flórez-Serrano y J. C. Serrano-Rico (2021)** Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos. *Revista UIS Ingenierías* 20:1-10, <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021001>
- Schmidt Rivera X., B. Rodgers, T. Odanye, F. Jalil-Vega and J. Farmer (2022)** The role of aeroponic container farms in sustainable food systems The environmental credentials. *Science of the Total Environment* 860:160420, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160420>
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional (2022)** Sistema de información y visualización de estaciones automáticas. Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/PHP/sivea/sivea.php> (Octubre 2022).
- Swart G. (2018)** Relocation Feasibility Study and Communication Improvement of Microgreen Production at PicoGro CC. University of Van Pretoria. Hartfield, South Africa. 45 p.
- Weber C. F. (2016)** Nutrient content of cabbage and lettuce microgreens

grown on vermicompost and hydroponic growing pads. *Journal of Horticulture* 3:1000190, <https://10.4172/2376-0354.1000190>
Wilhelm J. (2021) Exploring the feasibility of growing microgreens in a modified cold storage room. Final report for FNE20-966.

Sustainable Agriculture Research and Education, University of Maryland. College Park, Maryland, USA. <https://projects.sare.org/project-reports/fne20-966/> (February 2023).